



УДК 658.254
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-6-16

Научная статья



Оценка экологической эффективности систем газоснабжения на основе анализа их жизненного цикла

В.И. Беспалов ✉, **О.С. Гурова**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ izos-rgsu@mail.ru

Аннотация
Введение. При выборе оптимальной технологии систем жизнеобеспечения населенных мест наиболее перспективным является метод оценки эколого-экономической эффективности каждого вида этих систем, при реализации которого в качестве начального этапа принято считать анализ оценки их жизненного цикла.
В качестве научной проблемы авторами выделена необходимость оценки жизненного цикла системы газоснабжения, обеспечивающей организованные подачу и распределение потребителям газового топлива.
Целью исследования являлся поиск оптимального сочетания экологического и экономического факторов для вариантов газорегуляторного пункта методом анализа жизненного цикла с последующей оценкой эколого-экономической эффективности при организации и эксплуатации систем газоснабжения.
Материалы и методы. В основу исследований авторами положен метод анализа жизненного цикла объекта с учетом системы управления качеством, методов теории выбора и оценки эколого-экономической эффективности различных объектов.
Результаты исследования. В результате исследований установлено:
– газорегуляторный пункт представляет особый интерес с точки зрения выбора оптимальной технологии организованной подачи и распределения потребителям газового топлива;
– для газорегуляторных пунктов наиболее применим метод анализа жизненного цикла и оценки эколого-экономической эффективности;
– жизненный цикл газорегуляторного пункта включает 11 этапов, среди которых в качестве основного авторами выделен этап эксплуатации;
– для выбранных вариантов компоновки газорегуляторного пункта выполнена оценка эколого-экономической эффективности.
Обсуждение и заключение. Анализ жизненного цикла газорегуляторных пунктов систем газоснабжения позволил выделить этап эксплуатации как наиболее значимый. По каждому из двух выбранных авторами вариантов таких пунктов выполнена оценка эколого-экономической эффективности. В результате расчетов установлено, что наибольшей эколого-экономической эффективностью из рассматриваемых вариантов обладает газорегуляторный пункт с детандер-генераторным агрегатом, компоновка которого в перспективе может найти широкое практическое применение.

Ключевые слова: системы газоснабжения, газорегуляторный пункт, экологический фактор, экономический фактор, жизненный цикл, этапы жизненного цикла

Для цитирования. Беспалов В.И., Гурова О.С. Оценка экологической эффективности систем газоснабжения на основе анализа их жизненного цикла. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий.* 2023;2(3):6–16. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-6-16

Original article

Environmental Efficiency Assessment of Gas Supply Systems Based on Their Life Cycle Analysis

Vadim I. Bespalov ✉, **Oksana S. Gurova**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ izos-rgsu@mail.ru

Abstract
Introduction. The most forward-looking method of choosing the optimal technology of the populated areas' life support systems is the environmental and economic efficiency assessment of each type of such systems, wherein their life cycle

assessment analysis is considered to be the primal stage. The scientific problem distinguished by the authors is the need to assess a life cycle of a gas supply system, which provides the organised supply and distribution of gas fuel to consumers. The study aims at finding the optimal combination of the environmental and economic factors for the gas control station variants by means of the life cycle analysis method followed by the environmental and economic efficiency assessment of the gas supply systems' management and operation.

Materials and Methods. The authors' research was based on the object's life cycle analysis method compliant with the quality management system, methods of selection theory and environmental and economic efficiency assessment of various objects.

Results. As a result of the research, it was determined that:

– a gas control station is of particular interest in terms of choosing the optimal technology of the organised supply and distribution of gas fuel to consumers;

– for gas control stations, the life cycle analysis and environmental and economic efficiency assessment method is the most appropriate one;

– a gas control station life cycle includes 11 stages, among which the operational stage is identified by the authors as the main one;

– for the selected variants of a gas control station layout, the environmental and economic efficiency assessment is made.

Discussion and Conclusions. The life cycle analysis of the gas control stations of the gas supply systems made it possible to distinguish the operational stage as the most significant one. For each of the two variants of such stations selected by the authors, the environmental and economic efficiency assessment was carried out. Upon calculation results, it was discovered that among the variants under consideration, a gas control station with an expander-generator unit has the highest environmental and economic efficiency and its layout could be widely implemented in future.

Keywords: gas supply systems, gas control station, environmental factor, economic factor, life cycle, life cycle stages

For citation. Bespalov VI, Gurova OS. Environmental Efficiency Assessment of Gas Supply Systems Based on Their Life Cycle Analysis. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(3):6–16. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-6-16

Введение. Основными элементами в структуре городской среды являются системы жизнеобеспечения, функционирование которых направлено на обеспечение и поддержание комфортных условий жизнедеятельности. К системам жизнеобеспечения населенных мест относят: системы теплоснабжения, системы вентиляции и кондиционирования воздуха, системы электроснабжения, системы водоснабжения и водоотведения, системы газоснабжения, системы связи и системы транспорта [1–3].

Любая из перечисленных систем жизнеобеспечения включает три подсистемы (рис. 1):

– технологическую подсистему, которая обеспечивает производство (приготовление и подготовку по параметрам) соответствующего агента (продукта, теплоносителя, энергоносителя и т. п.), обеспечивающего требуемые характеристики благоприятной (комфортной) жизнедеятельности населения;

– транспортно-коммуникационную подсистему, которая создает условия для качественной поставки (доставки) потребителям произведенного (приготовленного и подготовленного по параметрам) соответствующего агента (продукта, теплоносителя, энергоносителя и т. п.), обеспечивающего требуемые характеристики благоприятной (комфортной) жизнедеятельности населения;

– инженерно-экологическую подсистему, которая обеспечивает предотвращение негативного воздействия на окружающую среду соответствующих факторов в процессе функционирования (эксплуатации технологической и транспортно-коммуникационной подсистем в системах жизнеобеспечения).

На основе рис. 1 более подробно рассмотрим структуру и основные технологические и экологические характеристики каждой из наиболее значимых энерго- и ресурсоснабжающих систем жизнеобеспечения населенных мест. К таким системам, на наш взгляд, следует отнести системы газоснабжения, теплоснабжения и водоснабжения.

Система газоснабжения предназначена для обеспечения организованной подачи и распределения потребителям газового топлива в виде горючих газов (природных горючих, сжиженных и искусственных). Структурно система газоснабжения может быть представлена следующим образом:

– в качестве технологической подсистемы в систему газоснабжения природным горючим газом входят: газодобывающий комплекс, газоперекачивающие компрессорные станции, газораспределительные станции, газорегуляторные пункты, устройства учета газа;

– к транспортной подсистеме относятся сети трубопроводов (газопроводов), компенсаторы, запорно-регулирующая арматура, опорные конструкции, дюкеры, виадуки и т. п.;

– к инженерно-экологической подсистеме относятся катодная защита газопроводов, устройства очистки природного газа от газообразных и твердых примесей, устройства утилизации или вторичного использования тяжелых углеводородов, продувочные свечи, устройства защиты от шума и вибрации и т. п.

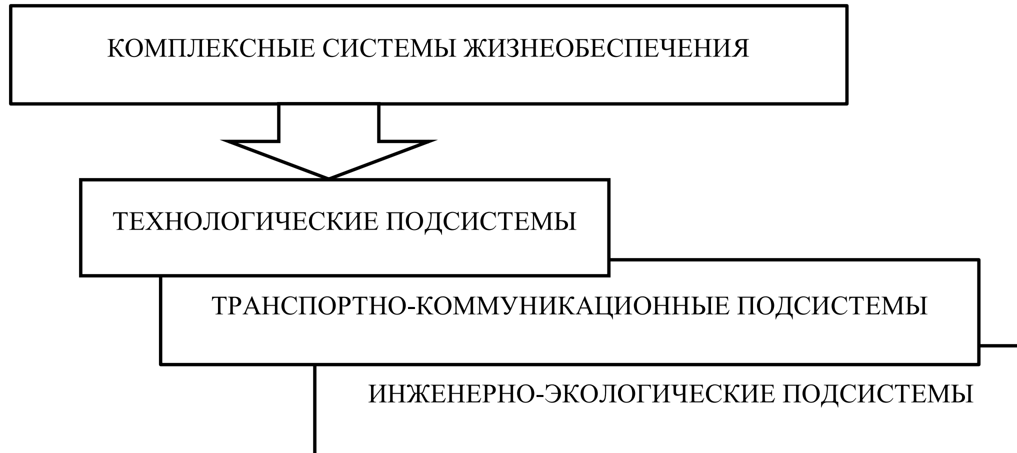


Рис. 1. Структурная схема систем жизнеобеспечения населенных мест

Технологические особенности системы газоснабжения заключаются в том, что она автоматически должна поддерживать требуемые потребителями значения расхода газа с определенным давлением в каждой точке системы, что обеспечивает оптимальную работу газовых приборов, безопасность и комфортные условия жизнедеятельности.

Экологические характеристики системы газоснабжения непосредственно связаны с воздействием различных структурных элементов технологической подсистемы соответственно на атмосферу, водные и земельные ресурсы на территории размещения системы газоснабжения [4].

Система теплоснабжения предназначена для обеспечения потребителей необходимым количеством теплоты требуемых параметров. Структурно система теплоснабжения может быть представлена следующим образом:

– в качестве технологической подсистемы в систему теплоснабжения входят: теплогенерирующая установка (котельная, тепловая станция) с комплексом водоподготовки и насосных установок для собственных нужд, устройство учета тепла;

– к транспортной подсистеме относятся тепловые сети (трубопроводы), насосные сетевые установки, компенсаторы, запорно-регулирующая арматура, опорные конструкции и т. п.;

– к инженерно-экологической подсистеме относятся тепловая защита (теплоизоляция), дымовая труба, устройства очистки дымовых газов от газообразных и твердых примесей, устройства очистки сточных вод, устройства защиты от шума и вибрации, комплексы утилизации отходов и т. п.

Технологические особенности системы теплоснабжения заключаются в том, что она автоматически должна поддерживать требуемые потребителями значения расхода теплоносителя с определенными значениями давления и температуры в каждой точке системы, что обеспечивает оптимальную работу теплопотребляющих приборов, безопасность и комфортные параметры микроклимата.

При этом экологические характеристики системы теплоснабжения связаны с выбросами в атмосферу загрязняющих веществ (продуктов полного и неполного сгорания органических видов топлива), излучением физических полей, прежде всего, теплового, а также загрязнением водных ресурсов сбросами сточных вод. Кроме того, при сжигании твердого топлива образуются золошлаковые отходы, для размещения которых требуется отчуждение значительного количества земель.

Система водоснабжения предназначена для обеспечения потребителей необходимым количеством воды для питьевых, производственных и противопожарных нужд, мойки улиц, а также полива зеленых насаждений и для иных целей. Структурно система водоснабжения может быть представлена следующим образом:

– в качестве технологической подсистемы в систему водоснабжения входят: водозаборное устройство, установка водоподготовки (установки обеззараживания и осветления воды, установки очистки от твердых примесей), насосные установки для собственных нужд, водомерный узел;

– к транспортной подсистеме относятся водопроводные сети (трубопроводы), насосные сетевые установки, компенсаторы, запорно-регулирующая арматура, опорные конструкции и т. п.;

– к инженерно-экологической подсистеме относятся устройства защиты от шума и вибрации, устройства очистки воды, комплексы утилизации отходов и т. п.

Технологические особенности системы водоснабжения заключаются в том, что она автоматически должна поддерживать требуемые потребителями значения расхода воды с определенными значениями давления в каждой точке системы, что обеспечивает оптимальную работу водоразборных установок и приборов, безопасность и комфортные условия жизнедеятельности.

При этом экологические характеристики системы водоснабжения связаны с выбросами в атмосферу загрязняющих веществ (продуктов обеззараживания, обезвреживания, аэрации), а также загрязнением водных ресурсов сбросами сточных вод.

Можно заключить, что системы жизнеобеспечения на одном из основных этапов своего жизненного цикла (при эксплуатации) наряду с полезным технологическим эффектом оказывают неблагоприятное экологическое воздействие на окружающую среду и на здоровье населения [5]. Именно в этом заключается основная отличительная особенность представленных на рис. 1 систем, которая состоит в том, что, с одной стороны, без них не возможна комфортная жизнедеятельность людей на территории населенных мест и их необходимо размещать как можно ближе к потребителям с целью оптимизации управления системами и минимизации различных видов потерь (материальных, энергетических и прочих), а с другой стороны, они в наибольшей степени негативно влияют на экологическое состояние территории, что требует как можно более удаленного их размещения относительно потребителей. Это представляет собой экологический парадокс, возникающий при эксплуатации систем жизнеобеспечения населенных мест.

Для разрешения этого парадокса необходимо намечать комплекс мероприятий, обладающих требуемыми значениями экологической эффективности, запроектировать и реализовать которые возможно лишь на основе анализа жизненного цикла любой из систем жизнеобеспечения с выделением соответствующих каждому этапу жизненного цикла негативно воздействующих факторов (рис. 2) [6, 7].

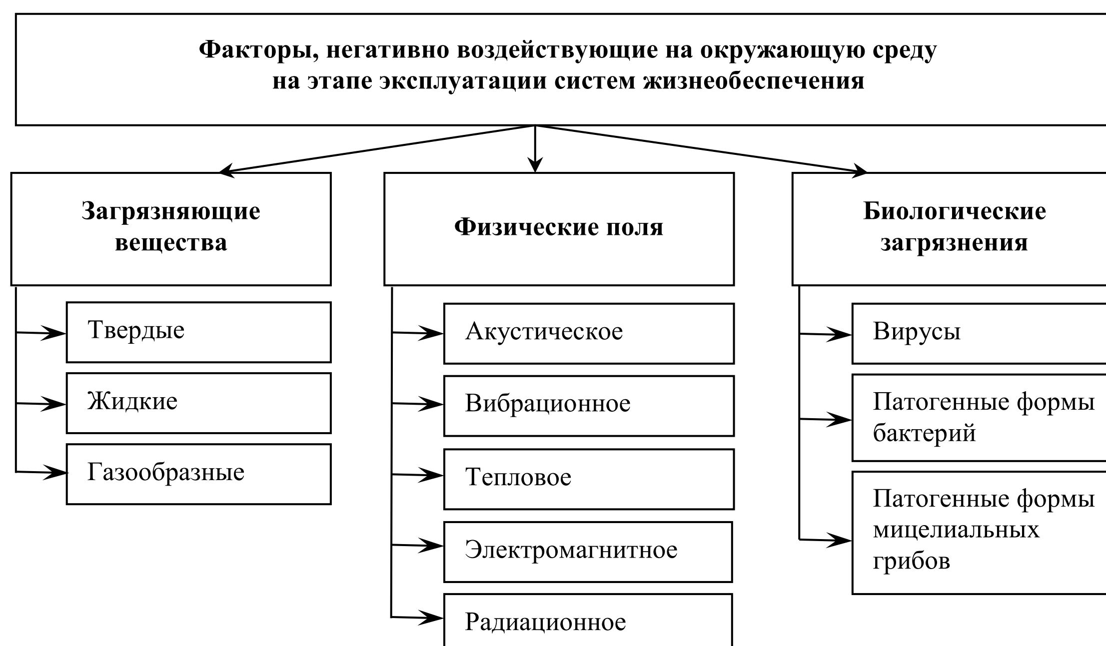


Рис. 2. Классификация факторов, проявляющихся в жизненном цикле систем жизнеобеспечения, негативно воздействующих на окружающую среду

К 1-й группе (материальные факторы) относят загрязняющие вещества, которые в зависимости от агрегатного состояния могут быть твердыми, жидкими и газообразными.

Ко 2-й группе (физические факторы) относят физические поля, которые в зависимости от физической природы могут проявляться в виде:

– акустического (звукового) поля, являющегося следствием воздействия различных источников звуковых волн;

– вибрационного поля, являющегося следствием воздействия различных источников упругих механических колебаний;

– теплового поля, возникающего в результате повышения температуры окружающей среды, в первую очередь, атмосферы;

– электромагнитного поля, являющегося следствием воздействия различных источников электромагнитных волн;

– радиационного поля, являющегося следствием воздействия различных источников радиоактивного излучения.

3-я группа (биологические факторы) — биологические загрязнения, к которым относятся различные микроорганизмы (вирусы и бактерии), ухудшающие состояние экосистем и негативно влияющие на человека, животных и растения.

Перечисленные факторы не только отрицательно воздействуют на население, но также ухудшают экологическую обстановку на территории населенных мест. Кроме того, под воздействием этих факторов наблюдается интенсивный износ различных объектов городской среды, включая системы жизнеобеспечения, приводя к преждевременному выводу их из строя [8].

Таким образом, главной задачей при организации и эксплуатации систем жизнеобеспечения является поиск для них оптимального сочетания технологической эффективности (максимальной технологической «полезности») и экологической эффективности (минимального негативного воздействия на окружающую среду) [8].

Рассмотрим возможность оценки экологической эффективности систем жизнеобеспечения на основе анализа их жизненного цикла на примере системы газоснабжения, которая, на наш взгляд, представляет собой одну из важнейших и с точки зрения жизнеобеспечивающей значимости, и с точки зрения энергоснабжения.

Материалы и методы. В качестве методической базы нами выбран научный подход, основанный на последовательном формировании базы исходных данных, включая составление перечня экологических параметров, выполнении подготовительных расчетов экономических параметров, анализе жизненного цикла заранее принятых к рассмотрению вариантов исследуемого объекта и выборе такого варианта, который обладает максимальной экологической эффективностью и при этом характеризуется минимальными экономическими затратами.

Прежде всего, необходимо описать основные этапы жизненного цикла исследуемого объекта, в качестве которого нами предложено рассматривать газорегуляторный пункт системы газоснабжения. Для этого пункта выбраны два сравниваемых варианта с различной компоновкой, рассчитанных на одну и ту же производительность природного газа и использующих в качестве регуляторов давления различные устройства:

– вариант 1 представляет собой газорегуляторный пункт с регулятором давления (рис. 3) и включает: регулятор давления газа РДГ-150-Н(В), предохранительный сбросной клапан ПСК-50Н(В), кран шаровой КШ-20, кран шаровой КШ-50, фильтр типа ФГ, выходной манометр, кран шаровой КШ-15, манометр МТ-16, задвижка $Д_у10$, задвижка $Д_у150$;

– вариант 2 представляет собой газорегуляторный пункт с детандер-генераторным агрегатом (рис. 4) и включает: детандер-генераторный агрегат (ДГА), кран шаровой КШ-20, кран шаровой КШ-50, фильтр типа ФГ, выходной манометр, кран шаровой КШ-15, манометр МТ-20, задвижка $Д_у20$, задвижка $Д_у150$.

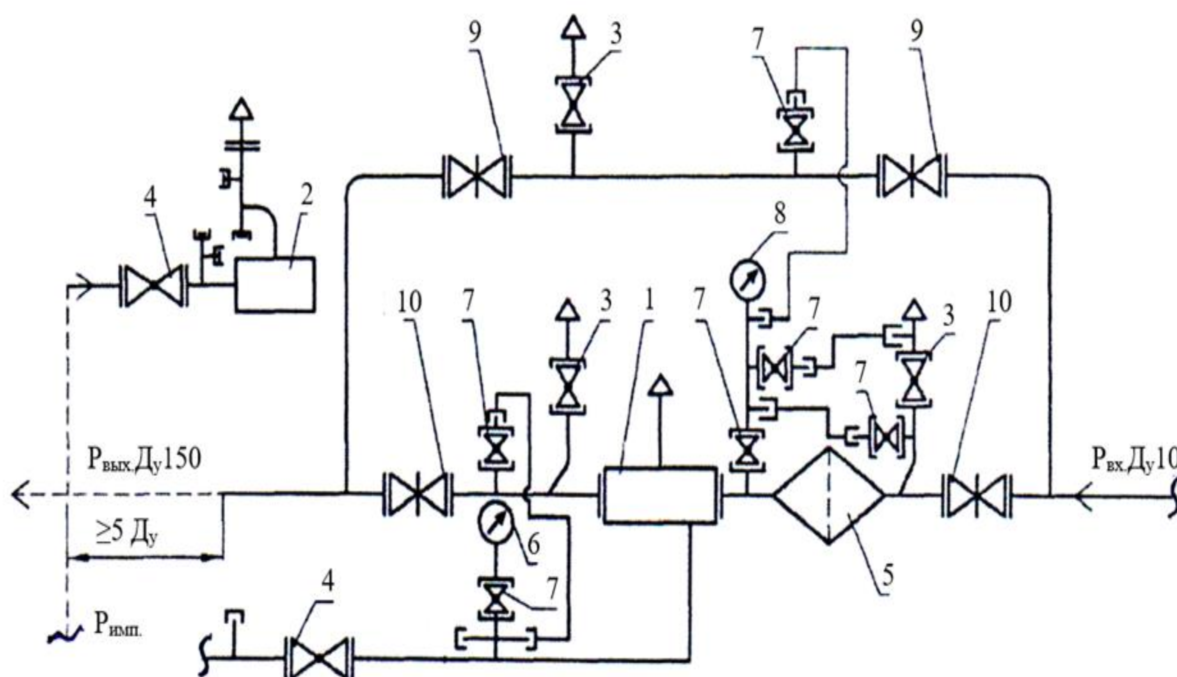


Рис. 3. Схема газорегуляторного пункта с регулятором давления РД-150Н(В)
1 — регулятор давления газа; 2 — предохранительный сбросной клапан; 3, 4 — кран шаровой; 5 — фильтр типа; 6 — выходной манометр; 7 — кран шаровой; 8 — манометр; 9, 10 — задвижки

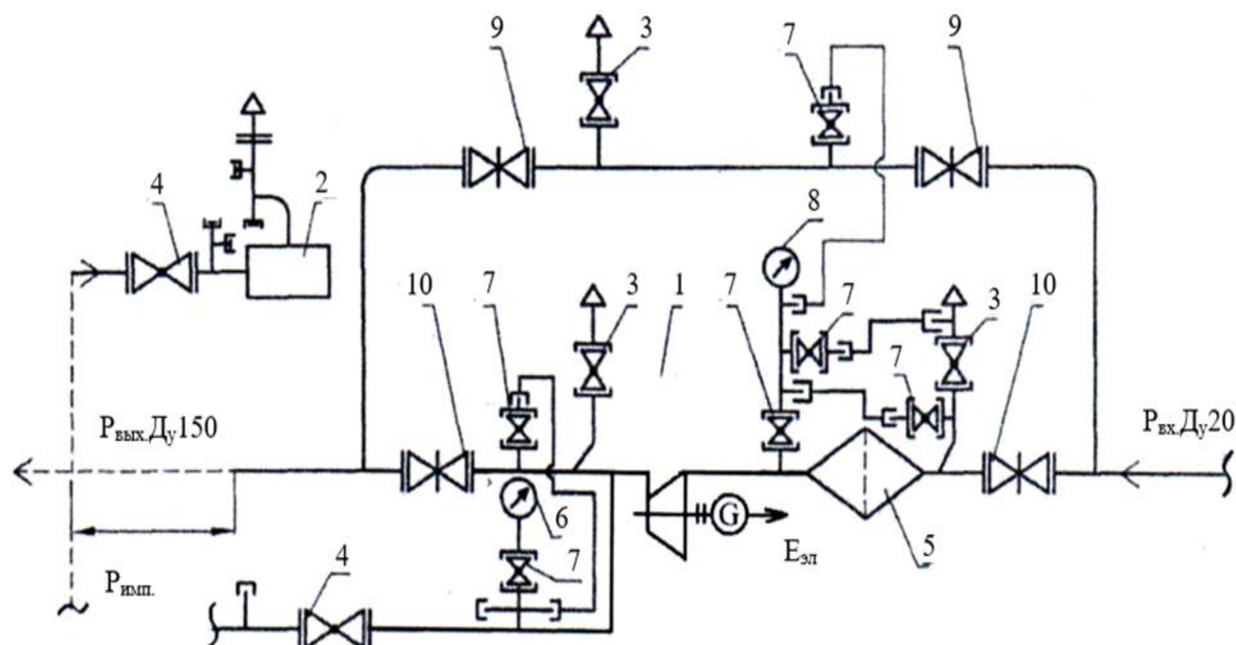


Рис. 4. Схема газорегуляторного пункта с ДГА
1 — детандер-генераторный агрегат; 2 — предохранительный сбросной клапан; 3, 4 — кран шаровой; 5 — фильтр типа; 6 — выходной манометр; 7 — кран шаровой; 8 — манометр; 9, 10 — задвижки

Эти варианты предназначены для обеспечения подачи газа небольшому количеству потребителей путем дросселирования, то есть снижения значения давления газа от среднего до низкого. Их жизненные циклы схожи и включают три основных этапа: производство, эксплуатация и утилизация (рис. 5).



Рис. 5. Этапы жизненного цикла газорегуляторного пункта

Результаты исследования. Оценка экологического фактора определена нами на основе расчета следующих параметров: показателя риска, показателя токсичности, показателя потребления энергии, показателя потребления сырьевых ресурсов, показателя общего негативного воздействия на объекты окружающей среды (атмосфера, водные и земельные ресурсы).

Расчет показателя риска для выбранных вариантов газорегуляторного пункта произведен по общей методике, так как оборудование в каждом из них выполнено из схожих материалов и транспортируется один и тот же вид топлива — природный газ [9]. Каждый отдельный показатель риска оценен нами по пятибалльной шкале (таблица 1).

Таблица 1

Составляющие показателя риска на этапе эксплуатации газорегуляторного пункта

№ п/п	Составляющая показателя риска	Варианты оценки	Оценка	Описание
1	Взрывоопасность топлива	1	4	Взрывоопасность оценивается как высокая, так как газ находится под высоким давлением, что обуславливает более высокий потенциал риска
		2	3	Взрывоопасность оценивается как высокая, так как газ находится под давлением, что обуславливает высокий потенциал риска
2	Ущерб окружающей среде при утечке газа	1	3	При утечке выделяется метан
		2	2	При утечке выделяется метан
3	Причинение вреда здоровью людей в результате производственных нарушений	1	4	Так как взрывоопасность высокая, то риск ущерба здоровью людей оценивается как высокий
		2	3	Высокая взрывоопасность газа
4	Ущерб окружающей среде при производственных нарушениях на газорегуляторном пункте	1	1	Риск причинения ущерба окружающей среде при нарушениях производственного процесса небольшой
		2	2	Риск причинения ущерба окружающей среде при нарушениях производственного процесса небольшой

Суммарный показатель риска для каждого варианта определен путем суммирования баллов по отдельным составляющим показателя риска и составляет: для варианта 1–12 баллов; для варианта 2–10 баллов. Анализ результирующих значений показал, что суммарный показатель риска для варианта 1 больше, чем для варианта 2 на два балла.

В результате приведения суммарных показателей риска каждого варианта к безразмерной величине путем отнесения к максимальному значению баллов получены значения, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Безразмерные значения суммарных показателей риска для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	Суммарная оценка риска, баллы	$P_{max}^{пр}$, баллы	P
1	12	12	1,00
2	10		0,83

Расчет показателя токсичности произведен методом классификации опасных материалов по предельному значению LD50 дозы-эффекта как основного критерия его оценки [9]. Для рассматриваемых вариантов компоновки газорегуляторных пунктов показатель токсичности рассчитан нами с учетом возможных утечек природного газа в неплотностях соединений и смазки, используемой в конструктивных элементах оборудования газорегуляторного пункта. Суммарный показатель токсичности для каждого варианта рассчитан путем суммирования баллов по отдельным составляющим показателя токсичности и сведен в таблицу 3.

Таблица 3

Суммарная оценка показателя токсичности на этапе эксплуатации газорегуляторного пункта

Вариант оценки	$T^{пт}$ газа, кг/год	$T^{пт}$ смазки, кг/год
1	17,5	0,2
2	12,3	0,2

Результаты приведения суммарных показателей токсичности каждого варианта к безразмерной величине получены путем отнесения к максимальному значению баллов и представлены в таблице 4.

Таблица 4

Безразмерные значения суммарных показателей токсичности для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	$T^{пт}$, экв. кг	$T^{пт}_{max}$, экв. кг	T
1	17,5	17,5	1,00
2	12,3		0,70

Расчет показателя потребления энергии выполнен путем суммирования затраченной энергии каждым конструктивным элементом газорегуляторного пункта на этапе эксплуатации его жизненного цикла. Результаты приведения суммарных показателей потребления энергии для каждого варианта к безразмерной величине представлены в таблице 5.

Таблица 5

Безразмерные значения суммарных показателей потребления энергии для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	Общее потребление энергии, Вт	Наибольшее значение потребляемой энергии, Вт	E
1	3600	4000	0,90
2	4000		1,00

Для расчета показателя потребления сырьевых ресурсов нами определены перечень и масса сырья, используемого в каждом варианте конструктивного исполнения и компоновки газорегуляторного пункта. При этом учтено, что основным материалом в обоих рассматриваемых вариантах является сталь. Результаты расчета показателя сырьевых ресурсов и приведения его к безразмерной величине приведены в таблице 6.

Таблица 6

Безразмерные значения суммарных показателей потребления сырьевых ресурсов для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	Наименование сырья	Расход сырья, т/год	Наибольшее значение расхода сырья, т/год	M
1	Сталь	796,5	978,4	0,81
2		978,4		1,00

Показатель негативного воздействия на климатические процессы в окружающей среде определяется на основе параметра глобального потепления (ПГП) и фотохимического параметра создания озона (ФПСО) (таблица 7) [10].

Таблица 7

Безразмерные значения суммарного показателя негативного воздействия на климатические процессы в окружающей среде для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	Наименование параметра						Суммарный показатель негативного воздействия на климатические процессы в окружающей среде
	ПГП			ФПСО			
	суммарная оценка, экв. кг	наибольшее значение, экв. кг	П	суммарная оценка, экв. кг	наибольшее значение, экв. кг	Ф	
1	920	920	1,00	0,280	0,280	1,00	1,00
2	782		0,85	0,238		0,85	0,85

На основе рассчитанных безразмерных показателей (таблицы 1–7) нами определен экологический фактор для рассматриваемых вариантов газорегуляторного пункта (таблица 8).

Таблица 8

Итоговые значения экологического фактора для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	Значения экологического фактора
1	1,09
2	0,91

Обсуждение и заключение. На основании анализа полученных результатов (таблица 8) можно заключить, что вариант 1 с экологической точки зрения является менее выгодным.

Оценка экономического фактора определена нами на основе расчета следующих параметров [11]: капитальных затрат на приобретение оборудования газорегуляторного пункта, затрат на проектирование, его монтаж и наладку, платы за загрязнение воздушного бассейна, а также за размещение и утилизацию отходов, образующихся при эксплуатации газорегуляторного пункта. Все перечисленные параметры приведены нами к безразмерным величинам. Результаты определения экономического фактора для каждого варианта газорегуляторного пункта приведены в таблице 9.

Таблица 9

Итоговые значения экономического фактора для каждого варианта газорегуляторного пункта

Вариант оценки	Значения экономического фактора
1	0,82
2	1,00

На основании анализа полученных результатов (таблица 9) можно заключить, что вариант 2 с экономической точки зрения является менее выгодным.

Учитывая, что результатом выполненных исследований является эколого-экономическая эффективность исследуемых вариантов газорегуляторного пункта, основанная на экологическом и экономическом факторах, она представлена нами графически следующим образом (рис. 6).

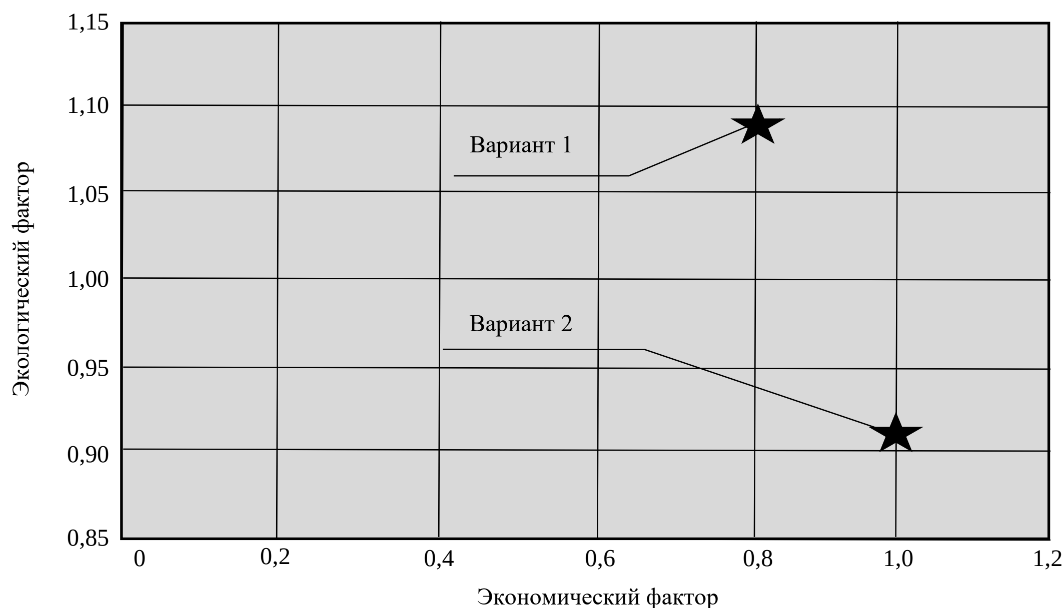


Рис. 6. Эколого-экономическая эффективность исследуемых вариантов газорегуляторного пункта

Анализ результатов, представленных на рис. 6, дает возможность сделать вывод о том, что вариант компоновки газорегуляторного пункта с детандер-генераторным агрегатом оказывает меньшее негативное воздействие на окружающую среду по сравнению с газорегуляторным пунктом с регулятором давления.

При этом видно, что экономический фактор для обоих вариантов практически одинаков. Из этого следует, что наибольшей эколого-экономической эффективностью из рассматриваемых вариантов обладает газорегуляторный пункт с детандер-генераторным агрегатом.

Таким образом, можно заключить, что в результате выполненных исследований систем жизнеобеспечения населенных мест на примере газорегуляторного пункта методом анализа жизненного цикла решена задача поиска для его вариантов оптимального сочетания экологического и экономического факторов с последующей оценкой эколого-экономической эффективности при организации и эксплуатации систем газоснабжения.

Список литературы

1. Щетинина Е.Д., Шемякина А.Е. Определение этапа жизненного цикла продукта и особенности маркетинговых мероприятий на различных этапах жизненного цикла. *Белгородский экономический вестник.* 2021;1(101):59–63. URL: http://dspace.bstu.ru/jspui/handle/123456789/4050 (дата обращения: 10.07.2023).

2. Пастусова В.Н. Методы определения стадий жизненного цикла. *NovaInfo. Экономические науки.* 2016;52:107–110. URL: https://novainfo.ru/article/7893 (дата обращения: 10.07.2023).

3. Брусницына Д.Б. *Классификация инженерных систем жизнеобеспечения городов.* В: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные технологии и техника в производстве и промышленности». Стерлитамак; 2017. С. 16–18. URL: https://ami.im/sbornik/MNPK-TT-16.pdf (дата обращения: 10.07.2023).

4. Рудченко И.И., Загнитко В.Н. Организация и эксплуатация систем жизнеобеспечения населенных мест. *Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность.* 2015;4:116–125.

5. Прахова Т.Н., Сатаева Д.М. *Управление качеством на этапах жизненного цикла объектов газоснабжения:* монография. Нижний Новгород: ННГАСУ; 2014. 147 с.

6. Трифонова Т.А., Ильина М.Е. Жизненный цикл и его оценка как инструмент экологического менеджмента. Владимир: Изд-во «Аркаим»; 2016. 68 с.

7. Бегларян К.Э. Теоретико-практические аспекты формирования имиджа учреждений культуры. *Научная палитра.* 2020;2(28):14. URL: https://s.esrae.ru/culture/pdf/2020/2(28)/891.pdf (дата обращения: 10.07.2023).

8. Садунишвили Т., Гурова О.С., Парамонова О.Н. и др. Инновационные методологии защиты окружающей среды: систематизация ремедиационных мероприятий и физико-энергетический подход. Ростов-на-Дону: ДГТУ; 2021. 161 с.

9. Шлегель К.Д., Верхотуров С.С. Токсикологические свойства газообразных загрязнений и их влияние на организм человека. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики.* 2016;1(12):946–948. URL: https://clck.ru/35fXFH (дата обращения: 10.07.2023).

10. Bespalov V., Kotlyarova E. Analysis of the providing environmental safety supervision in construction and reconstruction of facilities in the urban territories. *MATEC Web of Conferences*. 2017;129:05005. https://doi.org/10.1051/matecconf/201712905005

11. Бездудная А.Г., Трейман М.Г. Методы и инструменты управления эффективностью природопользования на промышленных предприятиях: монография. Санкт-Петербург: Любавич; 2016. 126 с.

References

1. Shchetinina ED, Shemyakina AE. Opredelenie Ehtapa Zhiznennogo Tsikla Produkta i Osobennosti Marketingovykh Meropriyatii na Razlichnykh Ehtapakh Zhiznennogo Tsikla. *Belgorodskii Ehkonomicheskii Vestnik.* 2021;1(101):59–63. (In Russ.) URL: http://dspace.bstu.ru/jspui/handle/123456789/4050 (accessed: 10.07.2023).

2. Pastukhova VN. Metody Opredeleniya Stadii Zhiznennogo Tsikla. Naukosfera. 2018;4:85–88. (In Russ.) URL: https://novainfo.ru/article/7893 (accessed: 10.07.2023).

3. Brusnitsyna DB. Klassifikatsiya Inzhenernykh Sistem Zhizneobespecheniya Gorodov. In: *Proceedings of the International Science and Practical Conference "Intellektual'nye Tekhnologii i Tekhnika v Proizvodstve i Promyshlennosti"*. Sterlitamak; 2017. P. 16–18. (In Russ.) URL: https://ami.im/sbornik/MNPK-TT-16.pdf (accessed: 10.07.2023).

4. Rudchenko II, Zagnitko VN. Organizatsiya i Ehkspluatatsiya Sistem Zhizneobespecheniya Naselennykh Mest. *Chrezvychainye Situatsii: Promyshlennaya i Ehkologicheskaya Bezopasnost'*. 2015;4:116–125. (In Russ.).

5. Prakhova TN, Sataeva DM. *Upravlenie Kachestvom na Ehtapakh Zhiznennogo Tsikla Ob"Ektov Gazosnabzheniya*. Monograph. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering Publ.; 2014. 147 p. (In Russ.).

6. Trifonova TA, Il'ina ME. Zhiznennyi Tsikl i Ego Otsenka kak Instrument Ehkologicheskogo Menedzhmenta. Vladimir: Arkaim Publ.; 2016. 68 p. (In Russ.).

7. Beglaryan KE. Teoreticheskie Aspekty Analiza Zhiznennogo Tsikla Predpriyatiya. *Nauchnaya Palitra.* 2020;2(28):14. (In Russ.) URL: https://s.esrae.ru/culture/pdf/2020/2(28)/891.pdf (accessed: 10.07.2023).

8. Sadunishvili T, Gurova OS, Paramonova ON, et. al. Innovatsionnye Metodologii Zashchity Okruzhayushchei Sredy: Sistematizatsiya Remediatsionnykh Meropriyatii i Fiziko-Ehnergeticheskii Podkhod. Rostov-on-Don: DSTU Publ.; 2021. 161 p. (In Russ.).

9. Shlegel' KD, Verkhoturov SS. Toxicological Properties of Gaseous Contaminants and Their Impact on the Human Body. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Creative Youth "Topical Problems of Aviation and Astronautics*. 2016;1(12):946–948. (In Russ.) URL: https://clck.ru/35fXFH (accessed: 10.07.2023).

10. Bespalov V, Kotlyarova E. Analysis of the Providing Environmental Safety Supervision in Construction and Reconstruction of Facilities in the Urban Territories. *MATEC Web of Conferences*. 2017;129:05005.
URL: https://doi.org/10.1051/matecconf/201712905005

11. Bezdudnaya AG., Treiman MG. Metody i Instrumenty Upravleniya Ehffektivnost'yu Prirodopol'zovaniya na Promyshlennykh Predpriyatiyakh. Monograph. Saint Petersburg: Lyubavich Publ.; 2016. 126 p. (In Russ.).

Поступила в редакцию 12.07.2023
Поступила после рецензирования 19.08.2023
Принята к публикации 26.08.2023

Об авторах:
Беспалов Вадим Игоревич, заведующий кафедрой «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ORCID, izos-rgsu@mail.ru
Гурова Оксана Сергеевна, профессор кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, ScopusID, ORCID, okgurova@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:
В.И. Беспалов — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство.
О.С. Гурова — анализ результатов исследований, корректировка выводов, графическое оформление, доработка текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 12.07.2023
Revised 19.08.2023
Accepted 26.08.2023

About the Authors:
Vadim I. Bespalov, Dr.Sci. (Engineering), Professor, Head of the Engineering Protection of Environment Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ORCID, izos-rgsu@mail.ru
Oksana S. Gurova, Dr.Sci. (Engineering), Professor of the Engineering Protection of Environment Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ORCID, okgurova@yandex.ru

Claimed contributorship:
VI Bespalov — designing the main concept, goals and objectives of the research, scientific supervision;
OS Gurova — research results analysis, correcting the conclusions, graphic design, refining the text.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.